

# **Sistemas Inteligentes:**

## **Informe de la Práctica 2**

**Autor:** Jesús Sánchez Pardo

**Curso:** 2024/2025

**Grupo:** 2.3

**Fecha de Entrega:** 15/12/24

# 0. Índice

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>0. Índice</b>                           | <b>2</b>  |
| <b>1. Introducción y Explicación Breve</b> | <b>3</b>  |
| <b>2. Diseño del SBR con incertidumbre</b> | <b>4</b>  |
| <b>3. Pruebas</b>                          | <b>6</b>  |
| 3.1. Prueba 2                              | 6         |
| 3.2. Prueba 3                              | 9         |
| 3.3. Prueba A                              | 11        |
| <b>4. Ejecuciones</b>                      | <b>14</b> |
| 4.1. Prueba 1                              | 14        |
| 4.2. Prueba 2                              | 16        |
| 4.3. Prueba 3                              | 18        |
| 4.4. Prueba A                              | 20        |
| <b>5. Conclusión y Valoración Personal</b> | <b>22</b> |

# 1. Introducción y Explicación Breve

---

En este documento se explica sobre el diseño y construcción de un Sistema Basado en Reglas incorporado el conocimiento con incertidumbre. Dicho SBR se implementará mediante un encadenamiento hacia atrás para trabajar de una mejor manera con el conocimiento incierto.

Para la implementación de este sistema, se ha implementado un motor de inferencia con encadenamiento hacia atrás en el lenguaje C++. Para su posterior comprobación, se resolverán teóricamente una serie de problemas para verificar si la solución dada por el programa es correcta. Para cada uno de estos problemas:

- Se comenta la formalización resultante del enunciado, la base de conocimientos obtenida y la base de hechos inicial que se obtiene para cada uno. Se muestra además la red de inferencia que debería seguir el programa para llegar al objetivo.
- Respecto a la ejecución de pruebas en el programa, se muestran tanto los ficheros de entrada, como el proceso de inferencia que ha seguido el algoritmo, además de la red de inferencia completa, con los cálculos que ha realizado.
- 

Este último componente puede trabajar a la hora de cómo obtiene una conclusión a partir de los hechos de dos formas distintas:

- **Encadenamiento hacia adelante:** A partir del conjunto de hechos iniciales, se van aplicando reglas para verificar que un objetivo es verdadero, o hasta que no se puedan aplicar más reglas.
- **Encadenamiento hacia atrás:** A partir de un objetivo, se van verificando si los antecedentes de las reglas que infieren en el objetivo son verdaderos.

Esta última es con la que se implementará nuestro SBR, al tener que trabajar con incertidumbre en el conocimiento. Esta incertidumbre se representa mediante la **Teoría de los Factores de Certeza**.

Un **Factor de Certeza(FC)** es una **medida encargada de representar la certeza o la confianza de que ese hecho es verdadero**. A cada hecho y a cada regla se le asigna un factor de destreza. A la hora de la aplicación de reglas, para garantizar la consistencia:

- En el caso de que se tengan **varios antecedentes en una regla**, se requiere combinar los factores de destreza de estas para conocer la certeza total de que se cumpla una regla.
- Para conocer la **certeza del consecuente de una regla**, se combina tanto el factor de certeza total de los antecedentes como el de la regla.
- Si existen **varias reglas que infieren en un mismo hecho**, para conocer el **factor de certeza de este hecho**, se deben combinar los factores de destreza que cada regla proporciona a dicho hecho.

## 2. Diseño del SBR con incertidumbre

---

Para implementar el SBR con factores de certeza se sigue el siguiente esquema:

```
función Encadenamiento-Hacia-Atrás(Meta, BC, BH):  
  
    si Verificar(Meta, BH) entonces:  
        "El objetivo se cumple con una certeza del " + obtenerCerteza(Meta, BH) + "%."  
    sino:  
        "El objetivo no se cumple."  
  
función Verificar(Meta, BH, BC):  
  
    verificado = falso  
  
    si Contendida(Meta, BH) entonces devolver verdadero  
  
    sino:  
        ConjuntoConflicto = Equiparar(Consecuentes(BC), Meta)  
        ReglasVerificadas = {}  
        mientras Not Vacio(ConjuntoConflicto) Y Not Verificado hacer:  
  
            ReglaActual = EscogerRegla(ConjuntoConflicto)  
            NuevasMetas = ExtraerAntecedentes(ReglaActual)  
            verificado = verdadero  
  
            mientras Not Vacio(NuevasMetas) hacer:  
  
                MetaActual = EscogerMeta(NuevasMetas)  
  
                si Verificar(MetaActual, BH) entonces:  
                    VerificarRegla(Meta, ReglasVerificadas)  
  
                si Verificado y ConjuntoConflicto.Vacio() entonces:  
                    actualizarBH(meta, ReglasVerificadas, BH)  
  
    devolver Verificado
```

### Para que una meta/objetivo se cumpla:

- Si la meta se encuentra en la base de hechos, se cumple.
- Si no se encuentra en la base de hechos, se buscan aquellas reglas que se puedan aplicar. Este conjunto de reglas se conoce como **conjunto conflicto** y son aquellas las cuales tienen como consecuente la meta buscada..
  - Para poder aplicar estas reglas, se verifica para cada una si sus antecedentes se cumplen. **Nótese que para verificar estos antecedentes, se va a seguir este mismo procedimiento.**

- Si la regla contiene varios antecedentes y estos están verificados, se aplica el Caso 1. Tras ello, propagamos la regla con el factor de certeza resultante de aplicar el Caso 3. Esto se hace en la función **VerificarRegla**.
- Una vez todas las reglas del conjunto conflicto, si se tienen varias reglas verificadas es necesario combinar las evidencias que proporciona cada uno al consecuente (Caso 2). Una vez hecho, se incluye el objetivo en la base de hechos con el factor de certeza calculado tras el caso 2. Todo esto se hace en la función **actualizarBH**.

### 3. Pruebas

---

A continuación se presentan tanto las pruebas propuestas en el enunciado de la práctica como una prueba redactada desde cero. Para **cada prueba** se tiene su **enunciado**, y a partir de este se obtiene tanto la **formalización** del problema, como la **base de conocimientos** y la **base de hechos inicial** del problema, además del **objetivo a alcanzar**.

#### 3.1. Prueba 2

*Estamos en la eliminatoria final de la liga ACB y se juega al mejor de 5 partidos. La juegan el Real Madrid y el Estudiantes y están empatados a dos partidos y el quinto partido se juega en la cancha del Estudiantes.*

*Sabemos que los árbitros designados para el partido son moderados, que el Estudiantes tiene dos pivots lesionados y el Real Madrid también. Y se espera que el aforo del pabellón sea mayoritariamente del Estudiantes con una evidencia del 0.65, o equilibrado con 0.35.*

*Además, sabemos que a estos equipos les afectan distintos factores (entre otros):*

- *Árbitros: Si son moderados, la evidencia de que gane el equipo local es 0.4 y que gane el equipo visitante es de 0.75.*
- *Público: Cuando el aforo es mayoritariamente del equipo local, se tiene una evidencia de 0.4 en contra de que gane el equipo visitante. Pero si el aforo está equilibrado, se tiene una evidencia de 0.55 en contra del equipo local.*
- *Lesiones: Al Real Madrid le perjudica si tiene pivots lesionados y juega como visitante, con una evidencia en contra de que gane de 0.1. Y si al Estudiantes le faltan dos o más pivots la evidencia en su contra de su victoria es de 0.6.*

*¿Quién ganará este tercer partido y, por tanto, la liga?*

Dado este enunciado, se obtiene la siguiente **formalización**:

$\Sigma = \{\text{localEST}, \text{visitanteRM}, \text{arbMod}, \text{publicoMayEST}, \text{publicoEqui}, \text{les2pivEST}, \text{les2pivRM}, \text{GanaEST}, \text{GanaRM}\}$

Donde **cada hecho significa lo siguiente**:

**h1 = localEST** = “El Estudiantes es el equipo local”

**h2 = visitanteRM** = “El Real Madrid es el equipo visitante”

**h3 = arbMod** = “Los árbitros son moderados”

**h4 = publicoMayEST** = “El público es mayoritariamente del Estudiantes”

**h5 = publicoEqui** = “El público está equilibrado para los dos equipos”

**h6 = les2pivEST** = “El Estudiantes tiene 2 pivots lesionados”

**h7 = les2pivRM** = “El Real Madrid tiene dos pivots lesionados”

**h8 = ganaEST** = “El Estudiantes gana”

**h9 = ganaRM** = “El Real Madrid gana”

Con estos hechos **se tienen las reglas:**

**R1:** Si **arbMod** Entonces **ganaEST**, FC=0.4

**R2:** Si **arbMod** Entonces **ganaRM**, FC=0.75

**R3:** Si **publicoMayEST** Entonces **ganaRM**, FC= -0.4

**R4:** Si **publicoEqui** Entonces **ganaEST**, FC= -0.55

**R5:** Si **les2pivRM Y visitanteRM** Entonces **ganaRM**, FC= -0.1

**R6:** Si **les2pivEST** Entonces **ganaEST**, FC= -0.6

**Los hechos iniciales del problema son:**

FC(**localEST**)=1

FC(**arbMod**)=1

FC(**publicoEqui**)=0.35

FC(**les2pivRM**)=1

FC(**visitanteRM**)=1

FC(**publicoMayEST**)=0.65

FC(**les2pivEST**)=1

El enunciado nos pregunta qué equipo va a ganar, por lo que se tiene que hallar el factor de certeza del hecho **ganaEST** y del hecho **ganaRM**. Tras realizar esto podremos sacar conclusiones.

**Por como se ha definido el programa, se requiere definir dos bases de hechos, difiriendo únicamente por el hecho objetivo.** Según el formato explicado en el Manual de Uso, los ficheros que contienen la base de hechos con el objetivo ganaRM, la base de hechos con el objetivo ganaEST y la base de conocimientos son los siguientes:

```
7
h1, FC=1
h2, FC=1
h3, FC=1
h4, FC=0.65
h5, FC=0.35
h6, FC=1
h7, FC=1
Objetivo
h9
```

```
7
h1, FC=1
h2, FC=1
h3, FC=1
h4, FC=0.65
h5, FC=0.35
h6, FC=1
h7, FC=1
Objetivo
h8
```

*Figura 1: Contenido del fichero “BH2-ganaRM.txt”*

*Figura 2: Contenido del fichero “BH2-ganaEST.txt”*

```

6
R1: Si h3 Entonces h8, FC=0.4
R2: Si h3 Entonces h9, FC=0.75
R3: Si h4 Entonces h9, FC=-0.4
R4: Si h5 Entonces h8, FC=-0.55
R5: Si h7 y h2 Entonces h9, FC=-0.1
R6: Si h6 Entonces h8, FC=-0.6

```

Figura 3: Contenido del Fichero "BC-2.txt".

La red de inferencia resultante (que contiene los dos dos objetivos) ha sido el siguiente:

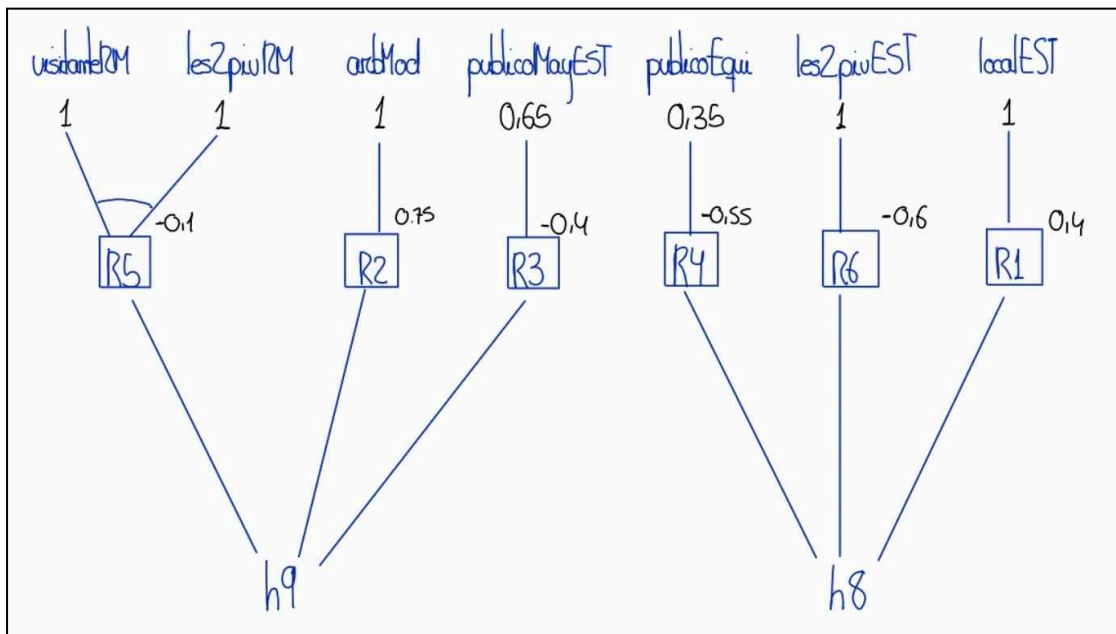


Figura 4: Red de Inferencia de la Prueba 2.



## 3.2 Prueba 3

Sabemos que ha ocurrido un accidente de tráfico y que hay un conductor sospechoso de haber causado dicho accidente. Consideremos el siguiente conocimiento:

- Un conductor con antigüedad entre 2-3 años se considera (0.5) experimentado. Si la antigüedad es mayor de 3 años entonces la evidencia de que es experimentado es 0.9
- Si se conduce entre 2-3 horas hay evidencia a favor (0.5) de que el conductor está cansado. Si es durante más de 3 horas hay total seguridad.
- Si el conductor es experimentado y no viaja solo hay una evidencia en contra (-0.5) de que el conductor sea el causante del accidente.
- Si el conductor está cansado hay evidencia a favor (0.5) de ser el causante del accidente.
- Si el conductor es joven o ha bebido alcohol hay bastante evidencia a favor (0.7) de que sea el causante del accidente.

Y disponemos de las siguientes evidencias: conductor con 4 años de antigüedad, ha conducido entre 2-3 horas, viajaba solo y es joven (entenderemos que su factor de certeza es de 0.4).

¿Creeremos que el conductor ha sido el causante del accidente?

Dado este enunciado, se obtiene la siguiente **formalización**:

$$\Sigma = \{\text{condCausante}, \text{condExperimentado}, \text{condCansado}, \text{condAntigüedad2-3}, \text{condAntigüedad+3}, \text{condConduce2-3}, \text{condConduce+3}, \text{condNoSolo}, \text{condJoven}, \text{condAlcohol}\}$$

Donde cada hecho significa lo siguiente:

- h1 = condCausante** = “Conductor se considera causante del accidente”
- h2 = condExperimentado** = “Conductor es Experimentado”
- h3 = condCansado** = “Conductor está cansado”
- h4 = condAntigüedad2-3** = “Conductor tiene una antigüedad de 2-3 años”
- h5 = condAntigüedad+3** = “Conductor tiene una antigüedad mayor a tres años”
- h6 = condConduce2-3** = “Conductor ha conducido durante 2-3 horas”
- h7 = condConduce+3** = “Conductor ha conducido durante mas de 3 horas”
- h8 = condNoSolo** = “Conductor no viaja solo”
- h9 = condJoven** = “Conductor es Joven”
- h10 = condAlcohol** = “Conductor ha bebido alcohol”

Con estos hechos **se tienen las reglas**:

- R1:** Si **condAntigüedad2-3** Entonces **condExperimentado**. FC(0.5)
- R2:** Si **condAntigüedad+3** Entonces **condExperimentado**. FC(0.9)
- R3:** Si **condConduce2-3** Entonces **condCansado**. FC(0.5)

- R4:** Si **condConduce+3** Entonces **condCansado**. FC(1)  
**R5:** Si **condExperimentado Y condNoSolo** Entonces **condCausante**. FC(-0.5)  
**R6:** Si **condCansado** Entonces **condCausante**. FC(0.5)  
**R7:** Si **condJoven O condAlcohol** Entonces **condCausante**. FC(0.7)

Los hechos iniciales del problema son:

FC(**condAntigüedad+3**) = 1  
 FC(**condNoSolo**) = - FC(**condSolo**) = -1  
 FC(**condConduce2-3**) = 1  
 FC(**condJoven**) = 0.4

Según el formato explicado en el Manual de Uso, el formato de la base de hechos y la base de conocimientos en los ficheros de entrada son:

```
4
h5, FC=1
h6, FC=1
h8, FC=-1
h9, FC=0.4
Objetivo
h1
```

Figura 5: Contenido del fichero "BH-3.txt"

```
7
R1: Si h4 Entonces h2, FC=0.5
R2: Si h5 Entonces h2, FC=0.9
R3: Si h6 Entonces h3, FC=0.5
R4: Si h7 Entonces h3, FC=1
R5: Si h2 y h8 Entonces h1, FC=-0.5
R6: Si h3 Entonces h1, FC=0.5
R7: Si h9 o h10 Entonces h1, FC=0.7
```

Figura 6: Contenido del fichero "BC-3.txt"

Por último, la **red de inferencia resultante** es la siguiente:

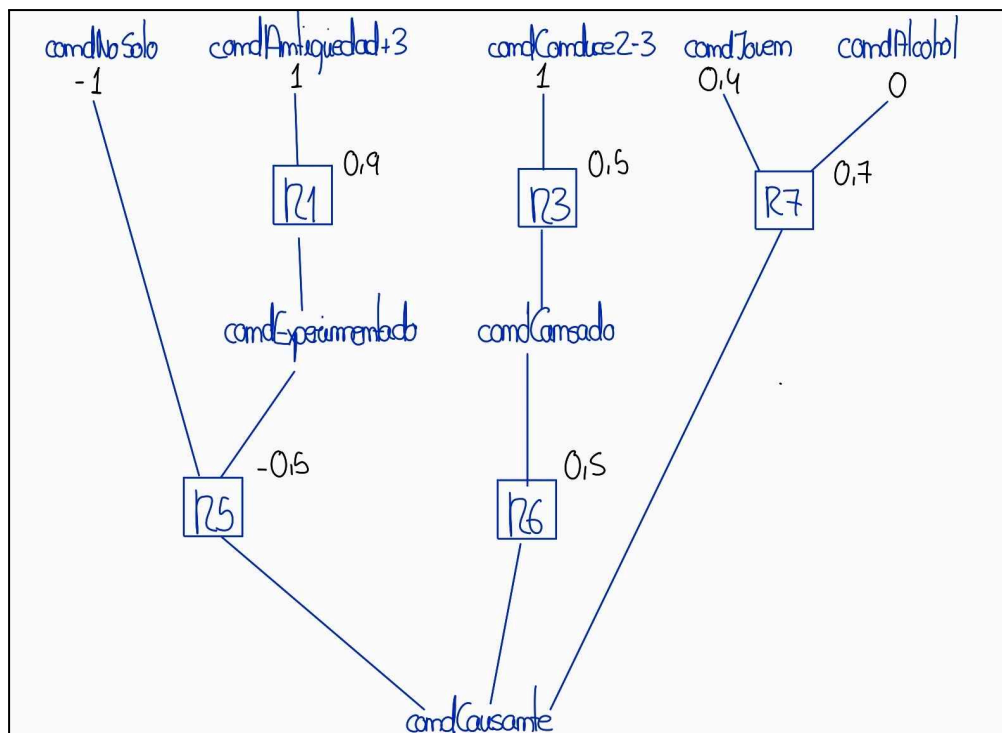


Figura 7: Red de Inferencia de la Prueba 3

### 3.3. Prueba A

*Un estudiante de Ingeniería Informática tiene que prepararse para una semana de exámenes caótica. El estudiante tiene varias características y hábitos que pueden afectar a su rendimiento en esta dura época de exámenes. Consideremos los siguientes conocimientos:*

- *Un estudiante que duerme menos de seis horas al día se considera (0.6) agotado.*
- *Un estudiante agotado y que consume más de dos cafés al día se considera (-0.5) concentrado.*
- *Un estudiante que tiene más de tres redes sociales se considera (-0.7) concentrado.*
- *Un estudiante que no se ejercita durante esta época o tiene más de dos exámenes y un proyecto se considera (0.45) estresado.*
- *Un estudiante que se planifica con antelación se considera (0.4) preparado.*
- *Un estudiante estresado se considera (-0.3) preparado.*
- *Un estudiante concentrado y preparado le va a ir bien en los exámenes (0.7)*

*Sabemos que el estudiante consume cuatro cafés al día, duerme de media cinco horas, realiza ejercicio dos veces a la semana (suponemos que tiene un factor de certeza de 0.2 respecto a no hacer ejercicio), tiene Instagram, Twitter, Telegram y Facebook ,tiende a dejar las cosas para el final (suponemos que tiene un factor de certeza de -0.4 respecto a planificar ) y que tiene tres exámenes y un proyecto esa semana.*

*¿Le irá bien en los exámenes?*

Dado este enunciado, se obtiene la siguiente **formalización**:

$\Sigma = \{\text{RendimientoExámenes}, \text{EstudianteAgotado}, \text{EstudianteConcentrado}, \text{Estudiante6Horas}, \text{Estudiante+2Cafes}, \text{Estudiante+3RRSS}, \text{EstudianteSinDeporte}, \text{Estudiante+2Exam1Proy}, \text{EstudiantePlanifica}, \text{EstudianteEstresado}, \text{EstudiantePreparado}\}$

Donde **cada hecho significa lo siguiente**:

**h1 = RendimientoExámenes**= “El estudiante tiene un buen desempeño en los exámenes”

**h2 = EstudianteAgotado** = “El estudiante está agotado”.

**h3 = EstudianteConcentrado** = “El estudiante está concentrado”.

**h4 = EstudianteEstresado** = “El estudiante está estresado”

**h5 = Estudiante6Horas** = “El estudiante duerme menos de 6 horas al día”.

**h6 = Estudiante+2Cafes** = “El estudiante consume más de dos cafés al día”.

**h7 = Estudiante+3RRSS** = “El estudiante usa más de tres redes sociales”.

**h8 = EstudianteSinDeporte** = “El estudiante no realiza ejercicio”.

**h9= Estudiante+2Exam1Proy** = “El estudiante tiene más de dos exámenes y un proyecto”

**h10 = EstudiantePlanifica** = “El estudiante planifica con antelación”.

**h11=EstudiantePreparado** = “El estudiante está preparado”.

Con estos hechos **se tienen las reglas**:

**R1:** Si **Estudiante6Horas** Entonces **EstudianteAgotado**. FC(0.6)

**R2:** Si **EstudianteAgotado Y Estudiante+2Cafes** Entonces **EstudianteConcentrado**. FC(-0.5)

**R3:** Si **Estudiante+3RRSS** Entonces **EstudianteConcentrado**. FC(-0.7)

**R4:** Si **EstudianteSinDeporte O Estudiante+2Exam1Proy** Entonces **EstudianteEstresado**.

FC(0.45)

**R5:** Si **EstudiantePlanifica** Entonces **EstudiantePreparado**. FC(0.4)

**R6:** Si **EstudianteEstresado** Entonces **EstudiantePreparado**. FC(-0.3)

**R7:** Si **EstudianteConcentrado Y EstudiantePreparado** Entonces **RendimientoExamenes**. FC(0.7)

Los hechos iniciales del problema son:

FC(**Estudiante6Horas**) = 1

FC(**Estudiante+3RRSS**) = 1

FC(**EstudiantePlanifica**) = -0.4

FC(**Estudiante+2Cafes**) = 1

FC(**EstudianteSinDeporte**) = 0.2

FC(**Estudiante+2Exam1Proy**) = 1

Según el formato explicado en el Manual de Uso, el formato de la base de hechos y la base de conocimientos en los ficheros de entrada son:

```
6
h5, FC=1
h6, FC=1
h7, FC=1
h8, FC=0.2
h9, FC=1
h10, FC=-0.4
Objetivo
h1
```

Figura 8: Contenido del fichero "BH-A.txt"

```
7
R1: Si h5 Entonces h2, FC=0.6
R2: Si h2 y h6 Entonces h3, FC=-0.5
R3: Si h7 Entonces h3, FC=-0.7
R4: Si h8 o h9 Entonces h4, FC=0.45
R5: Si h10 Entonces h11, FC=0.4
R6: Si h4 Entonces h11, FC=-0.3
R7: Si h3 y h11 Entonces h1, FC=0.7
```

Figura 9: Contenido del fichero "BC-A.txt"

Por último, la **red de inferencia resultante** es la siguiente:

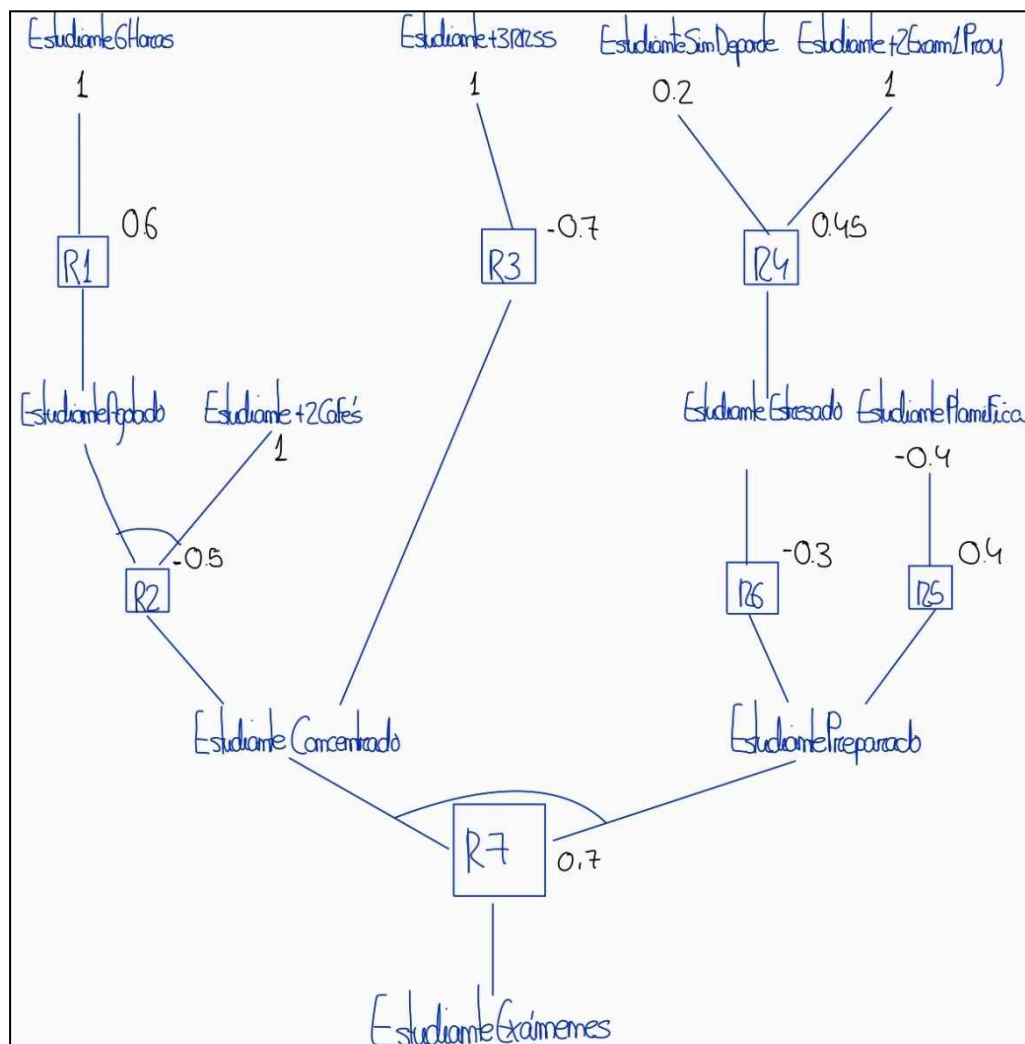


Figura 10: Red de Inferencia de la Prueba A.

## 4. Ejecuciones

---

### 4.1. Prueba 1

El fichero de salida del programa tras ejecutarse con los ficheros de entrada “BC-1.txt” y “BH-1.txt” ha mostrado el siguiente **proceso de inferencia**:

```
R1: Si h2 o h3 Entonces h1, FC=0.5
R3: Si h5 y h6 Entonces h3, FC=0.7
    (R3):Antecedente h6 verificado
    (R3):Antecedente h5 verificado
    (R3):Caso 1 aplicado, FC = 0.6
    (R3):Caso 3 aplicado, FC = 0.42
R4: Si h7 Entonces h3, FC=-0.5
    (R4):Antecedente h7 verificado
    (R4):Caso 1 aplicado, FC = 0.5
    (R4):Caso 3 aplicado, FC = -0.25
Caso 2 entre FC=-0.25 y FC=0.42 aplicado, FC=0.226667
    (R1):Antecedente h3 verificado
    (R1):Antecedente h2 verificado
    (R1):Caso 1 aplicado, FC = 0.3
    (R1):Caso 3 aplicado, FC = 0.15
R2: Si h4 Entonces h1, FC=1
    (R2):Antecedente h4 verificado
    (R2):Caso 1 aplicado, FC = 0.6
    (R2):Caso 3 aplicado, FC = 0.6
Caso 2 entre FC=0.6 y FC=0.15 aplicado, FC=0.66

Objetivo h1, FC=0.66
```

*Figura 11: Contenido del Fichero BH-1\_BC-1.txt*

El algoritmo empieza seleccionando las **reglas** en la que el **objetivo** se encuentre como **consecuente**, en este caso existen dos posibles reglas: **R1** y **R2**.

Para poder aplicar una regla se requiere verificar si sus antecedentes se cumplen. Al no tener **h3** en la base de hechos, el algoritmo busca aquellas reglas en las que el consecuente sea **h3**, trata de verificar si son aplicables y las aplica si es el caso.

Podemos ver cómo el algoritmo verifica que los antecedentes de **R3** y **R4** se cumplen para poder aplicar así la regla. Una vez estas dos reglas se han aplicado, se requiere combinar las evidencias hacia **h3** (Caso 2).

Tras tener **h3** verificado, se continua por el siguiente antecedente a verificar, **h2**, que ya se encuentra en la base de hechos, por lo que se cumple y por lo tanto **R1** se aplica.

Una vez aplicada **R1**, se continúa con **R2** de la misma forma. Una vez se ha verificado que **h4** se cumple (se encuentra en la base de hechos), se aplica la regla y se combinan las evidencias hacia el objetivo **h1**, **obteniendo como factor de certeza 0.66**

Una vez hemos obtenido el factor de certeza del objetivo, podemos concluir para la pregunta del enunciado que h1 se está cumpliendo con una certeza del 66%.

La red de inferencia resultante, una vez se ha ejecutado el algoritmo, es el siguiente:

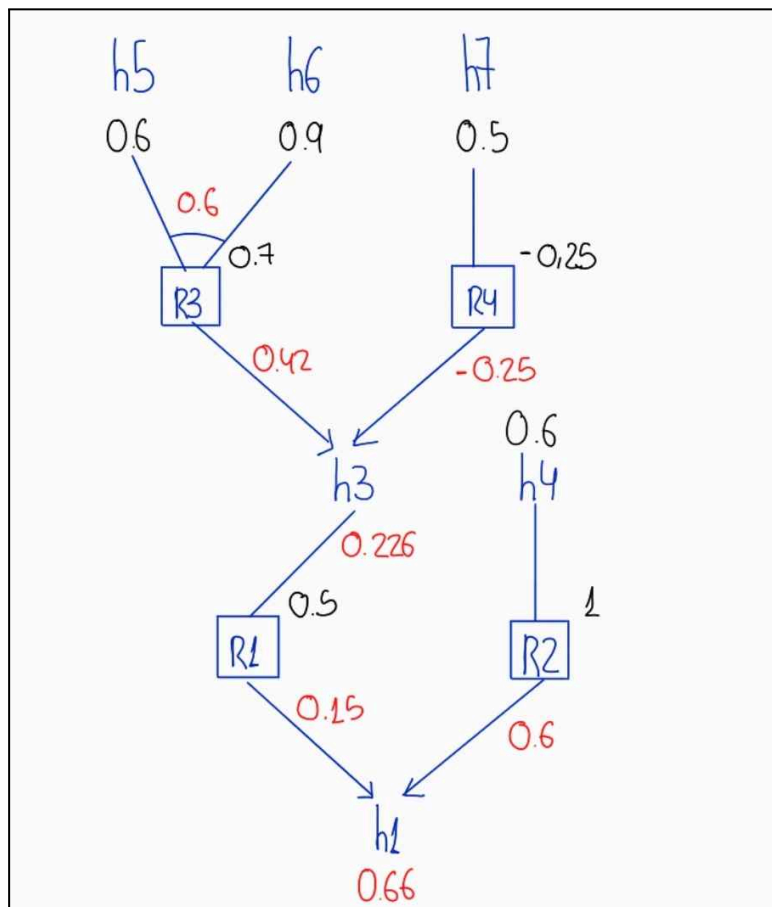


Figura 12: Red de Inferencia tras ejecutar la Prueba 1.

## 4.2. Prueba 2

Al tener dos bases de hechos en el que varían el objetivo a verificar, se obtienen dos ficheros de salida distintos. **El proceso de inferencia que hace el programa se divide en dos:**

```
R1: Si h3 Entonces h8, FC=0.4
    (R1):Antecedente h3 verificado
    (R1):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R1):Caso 3 aplicado, FC = 0.4
R4: Si h5 Entonces h8, FC=-0.55
    (R4):Antecedente h5 verificado
    (R4):Caso 1 aplicado, FC = 0.35
    (R4):Caso 3 aplicado, FC = -0.1925
R6: Si h6 Entonces h8, FC=-0.6
    (R6):Antecedente h6 verificado
    (R6):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R6):Caso 3 aplicado, FC = -0.6
Caso 2 entre FC=-0.6 y FC=-0.1925 aplicado, FC=-0.677
Caso 2 entre FC=-0.677 y FC=0.4 aplicado, FC=-0.461667
Objetivo h8, FC=-0.461667
```

Figura 13: Contenido del fichero "BH-2-ganaEST\_BC-2.txt".

```
R5: Si h7 y h2 Entonces h9, FC=-0.1
    (R5):Antecedente h2 verificado
    (R5):Antecedente h7 verificado
    (R5):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R5):Caso 3 aplicado, FC = -0.1
R2: Si h3 Entonces h9, FC=0.75
    (R2):Antecedente h3 verificado
    (R2):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R2):Caso 3 aplicado, FC = 0.75
R3: Si h4 Entonces h9, FC=-0.4
    (R3):Antecedente h4 verificado
    (R3):Caso 1 aplicado, FC = 0.65
    (R3):Caso 3 aplicado, FC = -0.26
Caso 2 entre FC=-0.26 y FC=0.75 aplicado, FC=0.662162
Caso 2 entre FC=0.662162 y FC=-0.1 aplicado, FC=0.624625
Objetivo h9, FC=0.624625
```

Figura 14: Contenido del fichero "BH2-ganaRM\_BC-2.txt".

La figura 1 representa el proceso de inferencia generado con la base de conocimientos y la base de hechos con objetivo **ganaEST**, mientras que la figura 2 con el hecho **ganaRM**.

### Explicado el proceso de inferencia de ganaEST:

- Se buscan las reglas que tienen como consecuente h8 (**ganaEST**).
- Se verifica para cada regla (R3, R4, R6) que sus antecedentes se cumplen. Todas se encuentran en la base de hechos, por lo que se aplica / propaga cada regla.
- Una vez las tres reglas se han aplicado, se requiere combinar las evidencias que afectan al objetivo **ganaEST** (Caso 2).
- **Se obtiene el factor de certeza -0.461667 para ganaEST.**

### Explicado el proceso de inferencia de ganaRM:

- Se buscan las reglas que tienen como consecuente h9 (**ganaRM**).
- Se verifica para cada regla (R2,R3,R5) que sus consecuentes se cumplen. De nuevo, todos los antecedentes se encuentran en la base de hechos, por lo que se aplica / propaga cada regla.
- Una vez se han aplicado, se combinan las evidencias que afectan al objetivo **ganaRM** y **se obtiene como factor de certeza 0.626425.**

Existe evidencia en contra (-0.461667) de que Estudiantes gane el partido, mientras que el Real Madrid tiene una evidencia a favor (0.626425) de que ganarán el partido. Respondiendo a la pregunta, **podemos concluir que el Real Madrid va a ganar el partido, con una certeza del 62,64%.**



La red de inferencia resultante, una vez se han aplicado la ejecución para cada objetivo ha sido:

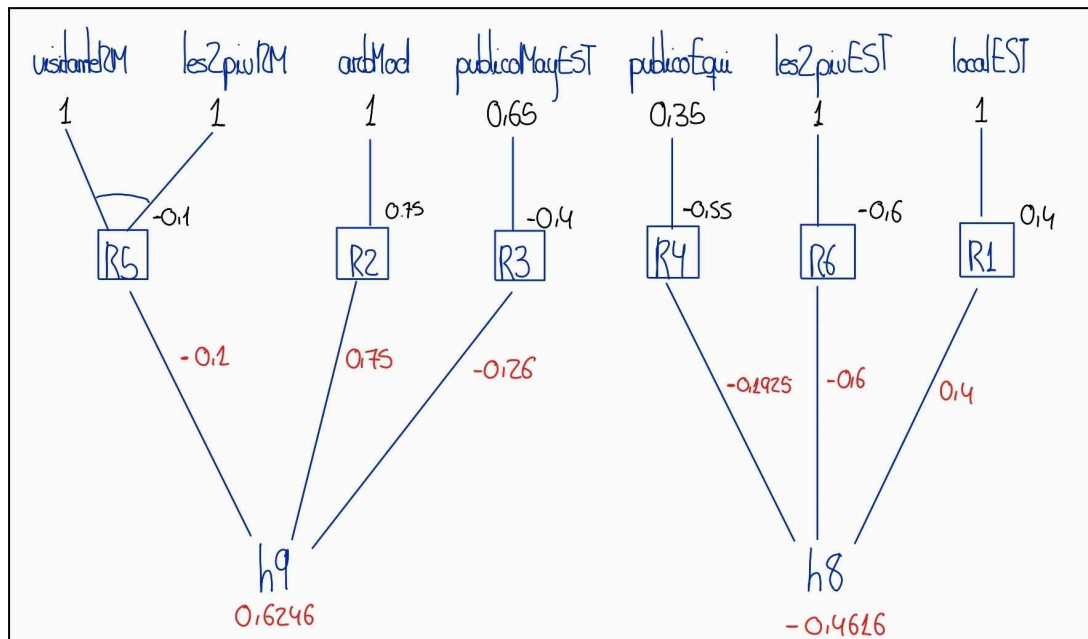


Figura 15: Red de Inferencia tras ejecutar Prueba 2.

### 4.3. Prueba 3

El fichero de salida del programa tras ejecutarse con los ficheros de entrada “BC-3.txt” y “BH-3.txt” ha mostrado el siguiente **proceso de inferencia**:

```
R5: Si h2 y h8 Entonces h1, FC=-0.5
    (R5):Antecedente h8 verificado
R1: Si h4 Entonces h2, FC=0.5
R2: Si h5 Entonces h2, FC=0.9
    (R2):Antecedente h5 verificado
    (R2):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R2):Caso 3 aplicado, FC = 0.9
    (R5):Antecedente h2 verificado
    (R5):Caso 1 aplicado, FC = -1
    (R5):Caso 3 aplicado, FC = -0
R6: Si h3 Entonces h1, FC=0.5
R3: Si h6 Entonces h3, FC=0.5
    (R3):Antecedente h6 verificado
    (R3):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R3):Caso 3 aplicado, FC = 0.5
R4: Si h7 Entonces h3, FC=1
    (R6):Antecedente h3 verificado
    (R6):Caso 1 aplicado, FC = 0.5
    (R6):Caso 3 aplicado, FC = 0.25
R7: Si h9 o h10 Entonces h1, FC=0.7
    (R7):Antecedente h9 verificado
    (R7):Caso 1 aplicado, FC = 0.4
    (R7):Caso 3 aplicado, FC = 0.28
Caso 2 entre FC=0.28 y FC=0.25 aplicado, FC=0.46
Caso 2 entre FC=0.46 y FC=-0 aplicado, FC=0.46

Objetivo h1, FC=0.46
```

Figura 16: Contenido del fichero “BH-3\_BC-3.txt”.

Explicando de forma breve el proceso de inferencia:

- Se buscan aquellas reglas que tengan como consecuente el objetivo h1 (**condCausante**). Se obtienen las reglas R5, R6 y R7.
- Para cada una de estas reglas se verifica si sus antecedentes se han cumplido, ya sea comprobando que están en la base de hechos o mediante la combinación de evidencias. Nótese que hay una regla que no se aplica porque ninguno de sus antecedentes se verifica, R4.
- Una vez se han verificado todas las reglas, se combinan sus evidencias y se obtiene así el factor de certeza del objetivo **condCausante**.

Podemos responder a la pregunta del enunciado con que **se tiene una certeza del 46% de que el conductor haya sido el causante del accidente**.

La red de inferencia resultante tras ejecutar el programa ha sido:

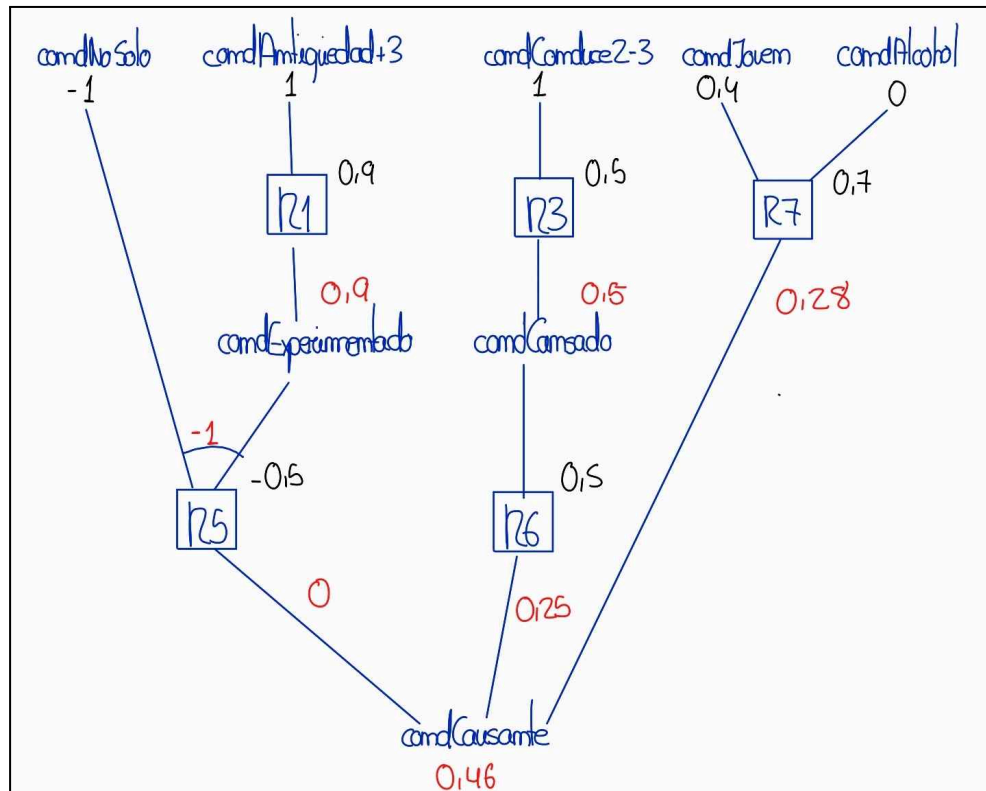


Figura 17: Red de Inferencia tras ejecutar Prueba 3.

## 4.4 Prueba A

El fichero de salida del programa tras ejecutarse con los ficheros de entrada “BC-A.txt” y “BH-A.txt” ha mostrado el siguiente proceso de inferencia:

```
R7: Si h3 y h11 Entonces h1, FC=0.7
R5: Si h10 Entonces h11, FC=0.4
    (R5):Antecedente h10 verificado
    (R5):Caso 1 aplicado, FC = -0.4
    (R5):Caso 3 aplicado, FC = 0
R6: Si h4 Entonces h11, FC=-0.3
R4: Si h8 o h9 Entonces h4, FC=0.45
    (R4):Antecedente h9 verificado
    (R4):Antecedente h8 verificado
    (R4):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R4):Caso 3 aplicado, FC = 0.45
    (R6):Antecedente h4 verificado
    (R6):Caso 1 aplicado, FC = 0.45
    (R6):Caso 3 aplicado, FC = -0.135
Caso 2 entre FC=-0.135 y FC=0 aplicado, FC=-0.135
    (R7):Antecedente h11 verificado
R2: Si h2 y h6 Entonces h3, FC=-0.5
    (R2):Antecedente h6 verificado
R1: Si h5 Entonces h2, FC=0.6
    (R1):Antecedente h5 verificado
    (R1):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R1):Caso 3 aplicado, FC = 0.6
    (R2):Antecedente h2 verificado
    (R2):Caso 1 aplicado, FC = 0.6
    (R2):Caso 3 aplicado, FC = -0.3
R3: Si h7 Entonces h3, FC=-0.7
    (R3):Antecedente h7 verificado
    (R3):Caso 1 aplicado, FC = 1
    (R3):Caso 3 aplicado, FC = -0.7
Caso 2 entre FC=-0.7 y FC=-0.3 aplicado, FC=-0.79
    (R7):Antecedente h3 verificado
    (R7):Caso 1 aplicado, FC = -0.79
    (R7):Caso 3 aplicado, FC = 0

Objetivo h1, FC=0
```

Figura 18: Contenido del fichero “BH-A\_BC-A.txt”.

Explicando de forma breve el proceso de inferencia:

- Se buscan aquellas reglas que tengan como consecuente el objetivo h1 (**RendimientoExámenes**). En este caso, solo existe una regla, **R7**.
- Dicha regla tiene dos antecedentes que son h3 (**EstudianteConcentrado**) y h11 (**EstudiantePreparado**). Sin embargo, no se encuentran en la base de hecho, por lo que para cada una se buscan las reglas que permitan inferir en ellas.
- **EstudianteConcentrado** se obtiene mediante la combinación de las evidencias que **R2** y **R3** aportan.
  - Para R2 existe un antecedente que se tiene que verificar aplicando la regla R1.
- **EstudiantePreparado** se obtiene mediante la combinación de evidencias de R6 y R5.
  - Para R6 existe un antecedente que se tiene que verificar mediante la aplicación de la regla R4.
- Una vez se han verificado **EstudianteConcentrado** y **EstudiantePreparado**, se aplica finalmente la Regla 7 que infiere en el objetivo **EstudianteExámenes**.

Vemos que el factor de certeza de **EstudianteExámenes** es 0. Esto quiere decir que **no se ha encontrado evidencia a favor o en contra de que al Estudiante le vaya bien en los exámenes**, no tenemos certeza alguna.

La red de inferencia tras ejecutar el programa ha sido:

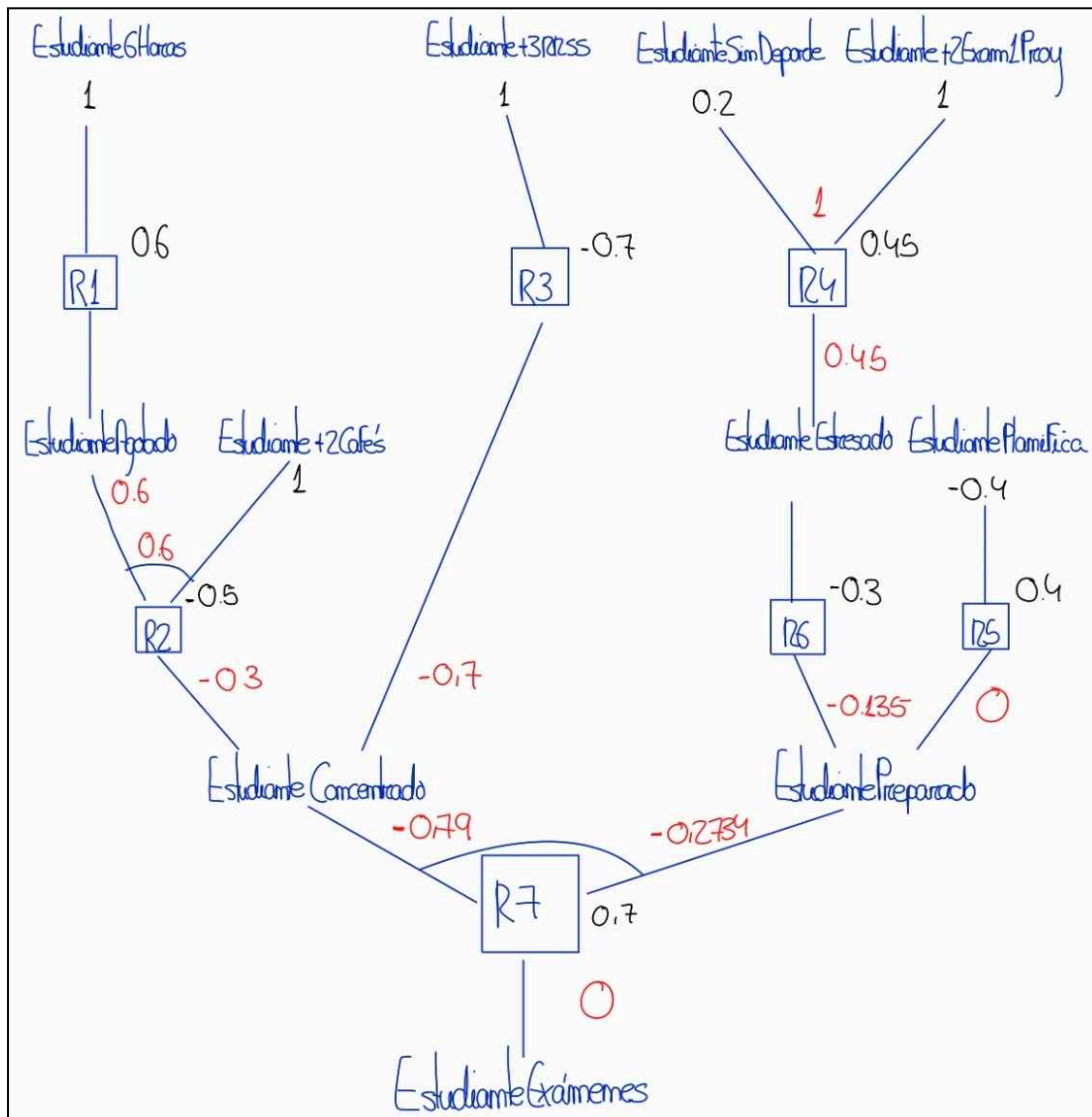


Figura 19: Red de Inferencia al ejecutar Prueba A.

## 5. Conclusión y Valoración Personal

---

A modo de conclusión, los sistemas basados en Reglas junto a los Factores de Certeza son una herramienta útil a la hora de resolver problemas complejos con una metodología simple y clara. Desde mi opinión, es una herramienta interesante que me genera curiosidad saber cómo se implementan en situaciones de la vida cotidiana, o si son la base de alguna otra herramienta más compleja y potente.

Lo considero una práctica sencilla aunque la implementación a código ha costado un poco al inicio ya sea en la lectura de los datos o por ejemplo a la hora de tener cuidado con la combinación de evidencias o la aplicación de reglas con operadores lógicos de conjunción. En resumen, una práctica interesante.

## 6. Bibliografía

---

[ChatGPT](#)

[Expresiones regulares \(C++\) | Microsoft Learn](#)

[regex\\_iterator \(Clase\) | Microsoft Learn](#)

[Cómo utilizar el fstream de C++ | TRSPOS](#)

[Vector en C++ Biblioteca de plantillas estándar \(STL\) con ejemplo](#)